

## **TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS NA INDÚSTRIA ALIMENTAR: O CASO DOS SECTORES VINÍCOLA E CERVEJEIRO**

A. C. Rodrigues\*, P. Moreira\*\*\*, J. A. Oliveira\*\*, J. M. Oliveira\*\*\*,  
L. Melo\*\*\*\*, A. G. Brito\*\*\*

\*Simbiente – Engenharia e Gestão Ambiental, Avenida da Liberdade, 374-SL, Braga

\*\*Adega Cooperativa de Ponte da Barca, Lugar do Agrelo, Ponte da Barca

\*\*\*Universidade do Minho – Engenharia Biológica, Braga, [agbrito@deb.uminho.pt](mailto:agbrito@deb.uminho.pt)

\*\*\*\*Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia, Porto

*Palavras-chave:* indústria cervejeira, indústria vinícola, reator descontínuo sequencial SBR, reactores anaeróbios UASB, granulação.

### **RESUMO**

Esta comunicação apresenta os resultados obtidos com a aplicação de sistemas de tratamento de efluentes líquidos nas áreas vinícola e cervejeira. O trabalho incidiu no arranque, operação e optimização de um reator descontínuo sequencial (SBR, *Sequencing Batch Reactor*) recentemente implantado na Adega Cooperativa de Ponte da Barca, assim como no estudo do fenómeno da granulação num reator anaeróbio de leito de lamas de fluxo ascendente (UASB, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) aplicado para o tratamento dos efluentes de uma indústria cervejeira.

### **INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS**

A indústria alimentar constitui uma das actividades económicas com maior relevo em Portugal e, com vista à sua valorização e competitividade, a conformidade ambiental com o quadro normativo vigente é essencial, em particular no que concerne ao tratamento dos efluentes líquidos. Os efluentes associados à produção vinícola têm origem nas operações de vinificação - a recepção das uvas, desengace, esmagamento, prensagem, defecação estática ou dinâmica e fermentação - trasfegas e enchimento. Os efluentes deste sector industrial caracterizam-se por apresentar grandes flutuações sazonais de volume e de composição. Em geral são ácidos no período de vinificação mas, durante o resto do ano, as operações de lavagem com detergentes alcalinos conduzem a uma neutralização do pH. A Adega Cooperativa de Ponte da Barca, uma

das empresas de referência no sector, produz cerca de 2 500 000 litros de vinho por ano e, na sequência da sua actividade, gera elevados caudais de águas residuais, que podem atingir os 100 m<sup>3</sup>/d. A composição do efluente apresenta valores de CQO desde 800 até 12 800 mg/L (estes no período de vinificação), assim como elevadas concentrações de sólidos em suspensão. Os materiais sólidos são constituídos por elementos grosseiros, como o cango de uvas, polpas e grânhas, provenientes das operações de lavagem durante a vinificação, borras originadas nas lavagens durante as trasfegas e terras de diatomáceas, resultantes da lavagem dos filtros. Os compostos solúveis são, essencialmente, açúcares, álcoois, glicerol, ácidos orgânicos e polifenóis, provenientes da matéria-prima. No caso dos vinhos tintos, a fermentação é menos poluente, devido ao arrastamento, pelos bagaços, de grande parte da matéria sólida em suspensão. As trasfegas e a clarificação do vinho são as operações mais poluentes nesta indústria. O sistema de tratamento biológico implementado na Adega Cooperativa de Ponte da Barca, baseado num reactor SBR, encontra-se representado, esquematicamente, na Figura 1.

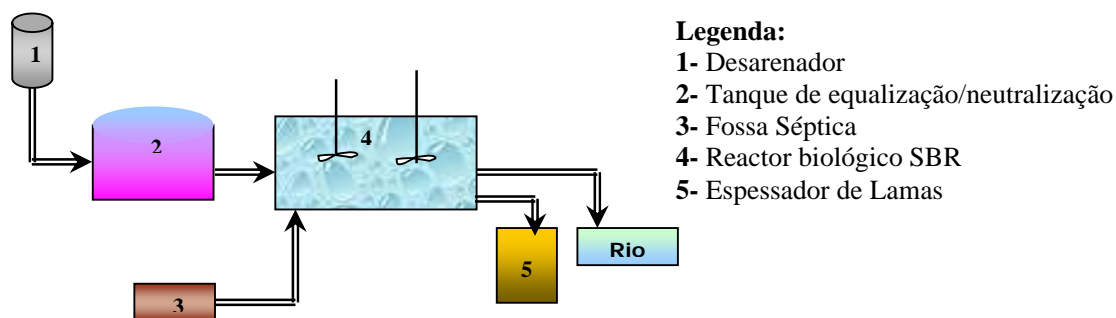


Figura 1- Esquema geral da ETAR da Adega Cooperativa de Ponte da Barca.



Figura 2 – Sistema de tratamento biológico SBR.

No que concerne às águas residuais da indústria cervejeira, os reactores UASB, devido aos menores gastos em energia e disposição final de lamas secundárias dos sistemas anaeróbios são, frequentemente, os processos adoptados (*e.g.*: Kühbeck, 1997; Birkenstock and Bosendörfer, 1997), ainda que possam requerer um tratamento final para cumprir as normas de descarga em meios hídricos (Rodrigues *et al.*, 2001). Em geral, a operação de sistemas UASB em substratos de indústrias cervejeiras tem sido iniciada efectuando, maioritariamente, uma significativa inoculação com biomassa já estruturada na forma granular. Este foi o procedimento seguido pela Unicer SA na unidade de Leça do Bailio, inoculando o UASB com grânulos provenientes de uma indústria papelreira. Esta opção tem algumas vantagens, nomeadamente a diminuição do período de arranque, mas acarreta encargos económicos significativos. A agregação microbiana ou “granulação” é um fenómeno que pode ocorrer em processos anaeróbios de tratamento de águas residuais industriais (Hulshoff Pol *et al.*, 1983). Os grânulos são densas estruturas de biomassa anaeróbia com uma actividade específica elevada e que, desencadeado sem qualquer meio de suporte adicional, é o resultado de um conjunto de interacções complexas envolvendo fenómenos físico-químicos, fisiológicos e ecológicos.

Nessa perspectiva, os objectivos específicos do presente trabalho foram, em síntese, os seguintes: *i)* avaliar o desempenho do sistema de tratamento SBR aplicado à indústria vinícola, e *ii)* efectuar o estudo da viabilidade do UASB e da granulação para o tratamento de efluentes da indústria da cerveja.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Análises**

A Carência Química de Oxigénio (COD), os sólidos voláteis (SV), o teor em fósforo e azoto, o índice volumétrico de lamas, foram determinados conforme preceituado no Standard Methods (1989). A concentração de ácidos gordos voláteis foi determinada através de cromatografia líquida (HPLC), por um sistema Jasco, equipado com uma coluna Chrompack para ácidos orgânicos colocada num forno à temperatura de 60°C. As amostras de biomassa foram examinadas através de um microscópio electrónico de varrimento Leica Cambridge S360. A preparação das amostras consistiu numa fixação numa solução de glutaraldeído (3% v/v) com 0.1 M

de tampão cacodilato de sódio (pH 7.2) durante 24 horas à temperatura ambiente. O teste de sedimentabilidade foi efectuado numa proveta graduada de 250 mL anotando a descida da interface sólido-água. A velocidade de sedimentação corresponde à tangente da curva inicial de sedimentação.

### **Condições de operação do reactor SBR**

O reactor descontínuo sequencial apresenta um volume útil de cerca de 190 m<sup>3</sup>, com um tanque de equalização com um volume útil de cerca de 300 m<sup>3</sup>. O inóculo do reactor biológico proveio de um efluente doméstico, com uma concentração em sólidos suspensos voláteis de 540 mg/L. A operação do SBR teve início com um ciclo diário, sendo a carga aplicada de 0.5 kgCQO.m<sup>-3</sup>d<sup>-1</sup>. A capacidade de fornecimento de oxigénio, durante a fase de reacção, pelos dois arejadores existentes no reactor SBR era de 11 kgO<sub>2</sub>/h. Após a fase de reacção, a sedimentação da biomassa decorria durante 1 hora.

### **Condições de operação do reactor UASB**

O reactor laboratorial UASB utilizado no presente estudo foi construído em vidro acrílico e apresentava um volume de 2.3 L, possuindo um sistema de controlo de temperatura para 35°C. O inóculo de biomassa utilizado nos ensaios proveio de um digestor anaeróbio convencional, de mistura completa, utilizado no tratamento das lamas purgadas de um processo de lamas activadas (Estação de Tratamento de Águas Residuais de Cambados, Câmara Municipal da Maia). O teor de sólidos voláteis nesta biomassa era 11 kgSV.m<sup>-3</sup>. O efluente da Unicer SA utilizado no presente estudo foi recolhido após a passagem pelo tamizador e pelo tanque de equalização/pré-acidificação, mas antes do tratamento anaeróbio pelo UASB instalado na Unicer SA. Em termos de protocolo experimental de operação, a carga orgânica volumétrica foi progressivamente aumentada reduzindo-se, para esse efeito, o tempo de retenção hidráulico. A carga orgânica aplicada variou entre 1.2 kgCQO.m<sup>-3</sup>.dia<sup>-1</sup> a 25kgCQO.m<sup>-3</sup>.dia<sup>-1</sup>. O protocolo de operação seguiu as normas descritas em Brito *et al*, (1997). O reactor foi operado com recirculação do efluente até ao dia 119. Nesta data, julgou-se que a produção de gás era suficiente para provocar a necessária turbulência no reactor e o eventual arraste de partículas dispersas não agregadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### efluente da indústria vinícola

Na Adega Cooperativa de Ponte da Barca efectua-se a separação de grande parte dos materiais sólidos antes da lavagem dos equipamentos. O facto de se proceder a uma descarga de materiais sólidos, antes da lavagem das cubas, permite reduzir entre 10 a 30 vezes a carga orgânica poluente por hectolitro de vinho produzido. Com o intuito de reduzir a quantidade de terras de diatomáceas no efluente a tratar recorre-se, sempre que possível, à filtração tangencial. Nesta unidade industrial procede-se, ainda, à segregação dos efluentes concentrados e diluídos, a fim de serem tratados separadamente. Com efeito, a separação entre águas pluviais e efluente doméstico e efluente industrial conduz a uma diminuição significativa do volume de efluente a tratar.

Durante o período de operação do SBR, os valores de pH e temperatura permaneceram, de um modo geral, estáveis, tendo oscilado entre 7 e 8. Contudo, no tanque de equalização, no período de vinificação, registaram-se valores de pH de 3, sendo necessário neutralizar o pH antes do tratamento biológico. Quanto à temperatura do efluente, observaram-se, ao longo do primeiro ano de operação, valores compreendidos entre 15 e 25 °C, no tanque de equalização, no interior do SBR e no efluente tratado. Verifica-se, em média, valores de CQO no tanque de equalização entre 2000 mgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> e 3500 mgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> e a fracção de CQO solúvel no interior do reactor é, em média, apenas 5 % da CQO total, excepto nos períodos de vinificação e trasfegas. A reduzida fracção de CQO solúvel no reactor biológico deve-se ao facto de, durante a maior parte do ano, os efluentes gerados resultarem de lavagens, conduzindo a uma diminuição da carga orgânica. Além disso, a presença de terras de diatomáceas resultantes das lavagens dos filtros, matéria particulada e a própria biomassa no interior do reactor, contribuem para a fracção de CQO não solúvel. No SBR, os valores de CBO<sub>5</sub> variam entre 500 mgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> e 1000 mgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>. A razão CBO<sub>5</sub>/CQO<sub>total</sub> foi, em média, de 32 % e os valores de CBO<sub>5</sub> no efluente final foram, em média, de 10 mgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>. Os SSV constituem cerca de 32 % dos SST.

À excepção das fases de vinificação, trasfegas e períodos correspondentes às purgas, as concentrações de SST e CQO total no efluente final são, de um modo geral, inferiores

aos valores limite de emissão (VLE) para descarga de águas residuais, de acordo com o Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto,  $150 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $60 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. De facto, verificou-se que, nos períodos de vinificação e trasfegas, em que há um grande aumento da carga orgânica aplicada ao sistema de tratamento de águas residuais, a concentração de SST e CQO total no efluente final é superior aos valores limite de descarga impostos legalmente, indicando a necessidade de se proceder a uma alteração processual a fim de aumentar a eficiência de remoção. A Figura 3 apresenta a eficiência de remoção de CQO em função da carga volumétrica aplicada.

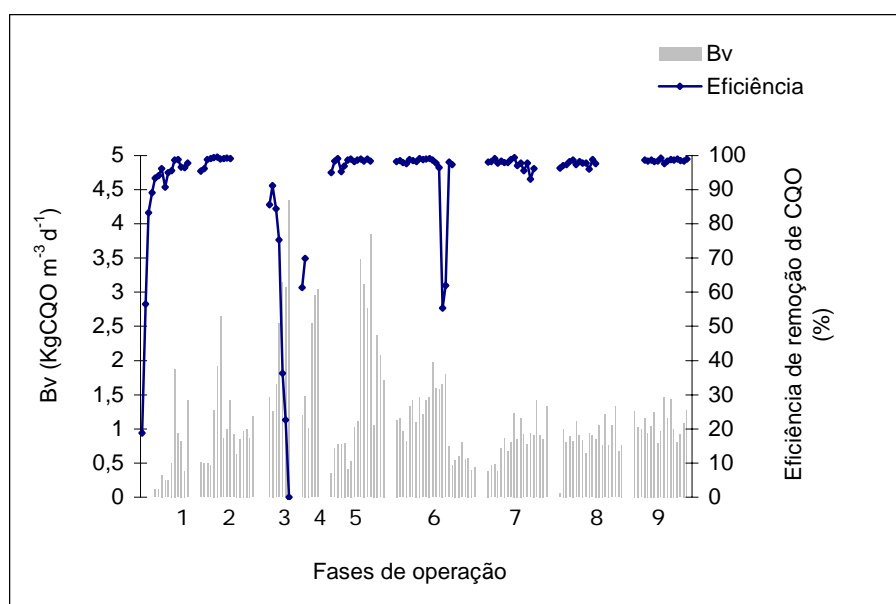


Figura 3 - Eficiência de remoção de CQO em função da carga volumétrica aplicada.

De um modo geral, foram observadas eficiências elevadas de remoção de CQO, apesar das variações na carga orgânica aplicada. No entanto, houve duas fases em que se registou um decréscimo acentuado da eficiência de remoção de CQO. O primeiro decréscimo verificou-se no período de vinificação, durante o qual se registou um aumento brusco da carga da carga volumétrica aplicada que, em períodos normais, oscila entre  $0.5 \text{ kgCQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  e  $1.5 \text{ kgCQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ , mas que, nesta fase, atingiu, em média, o valor de  $2.5 \text{ KgCQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ . O segundo decréscimo verificou-se na altura em que se iniciou a operação do SBR com dois ciclos diários, a fim de se aumentar a capacidade de tratamento dos elevados caudais de efluente industrial gerados. Tais alterações das condições operatórias causaram distúrbios na biomassa e,

consequentemente, a eficiência do tratamento diminuiu. Em ambos os casos, registou-se, ao fim de um curto período de adaptação às novas condições de operação, um aumento da eficiência de remoção de CQO. Na evolução da carga mássica aplicada, é possível distinguir um período em que a média dos seus valores é de  $0.26 \text{ kgCQO kgSSV}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , com um pico sazonal, em que este parâmetro atinge um valor médio de  $0.57 \text{ kgCQO kgSSV}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .

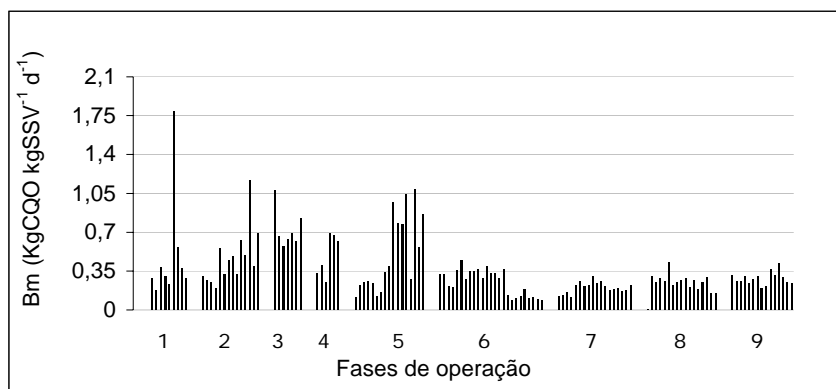


Figura 4 – Variação da carga mássica aplicada ao longo da operação do SBR.

Com base nas cargas orgânicas aplicadas, foram estimadas as necessidades em oxigénio para oxidação da matéria orgânica para os vários períodos de operação do sistema de tratamento de efluentes da Adega Cooperativa de Ponte da Barca. Os resultados são apresentados na Figura 5.

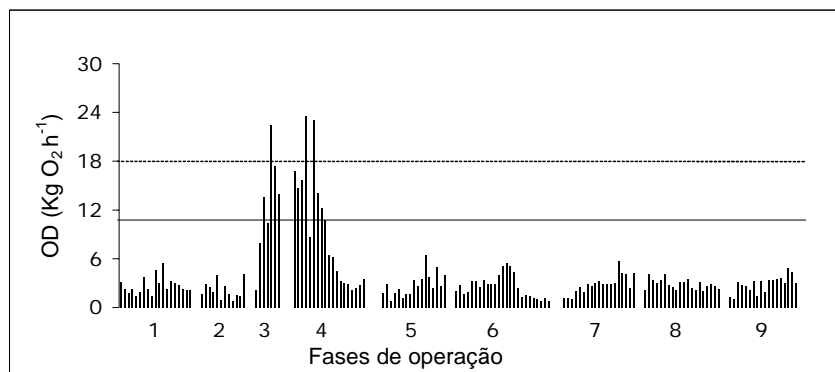


Figura 5 - Necessidades em oxigénio (a linha contínua indica o caudal de oxigénio fornecido pelos dois arejadores instalados no SBR; a linha a tracejado refere-se ao caudal de oxigénio requerido para oxidação da matéria orgânica nos períodos de maior carga).

É possível constatar que, durante os períodos de vinificação e trasfegas (fases 3 e 4), o caudal de oxigénio necessário para oxidação da matéria orgânica afluenta ao reactor SBR ( $18 \text{ kgO}_2/\text{h}$ ) foi bastante superior ao fornecido pelos dois arejadores instalados no tanque de tratamento biológico ( $11 \text{ kgO}_2/\text{h}$ ). Com o intuito de ultrapassar os problemas causados pela limitação de oxigénio dissolvido, nos períodos de maior carga orgânica, optou-se pela instalação de um compressor com uma capacidade de  $7 \text{ KgO}_2/\text{h}$  o qual, juntamente com os dois arejadores inicialmente existentes permitiu, de um modo geral, satisfazer as necessidades em oxigénio, conduzindo a um aumento da qualidade do efluente final. Nos restantes períodos do ano, o funcionamento alternado dos dois arejadores inicialmente existentes, é suficiente.

Nos períodos de maior afluência de efluente industrial ao tanque de equalização, optou-se por operar o SBR com dois ciclos diários, reduzindo para metade o tempo de reacção. A Figura seguinte apresenta uma análise comparativa entre a operação do SBR com um e com dois ciclos diários. Durante a operação do SBR com um ciclo diário, a carga volumétrica aplicada foi, em média, bastante inferior à aplicada durante a operação com dois ciclos por dia ( $2,6 \text{ kgCQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ).

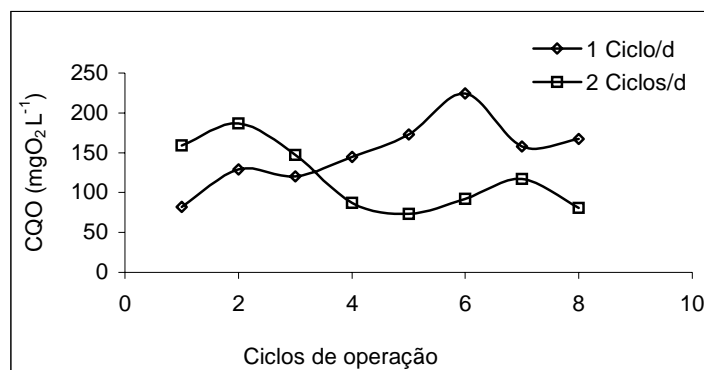


Figura 6 - Valor de CQO na descarga para diferentes estratégias de operação do SBR.

Como se depreende, após um período de adaptação, a operação do SBR com dois ciclos diários conduz a melhores resultados, em termos de eliminação da matéria orgânica presente no efluente industrial. Na tentativa de aumentar a eficiência do tratamento biológico nos períodos de maior carga, optou-se por efectuar a recirculação de lamas do SBR para o tanque de equalização, no sentido de dar aí início ao processo de degradação biológica do efluente. Para isso, foi colocado no tanque de equalização, um



arejador, a fim de satisfazer as necessidades em oxigénio da biomassa. Verificou-se que, nos ciclos de operação realizados após a recirculação de lamas para o tanque de equalização, apesar do TRH (5.8 dias) ser inferior ao obtido antes da recirculação (7.4 dias), conseguem-se eficiências de remoção de CQO mais elevadas. Além disso, a recirculação de biomassa do SBR para o tanque de equalização proporcionou, também, uma diminuição da idade das lamas, até valores que permaneceram bastante estáveis (21 dias). Nestas condições, as lamas apresentam sempre um aspecto adequado.

### efluente da indústria cervejeira

A Figura 7 apresenta os resultados de operação do UASB com o efluente da indústria cervejeira.

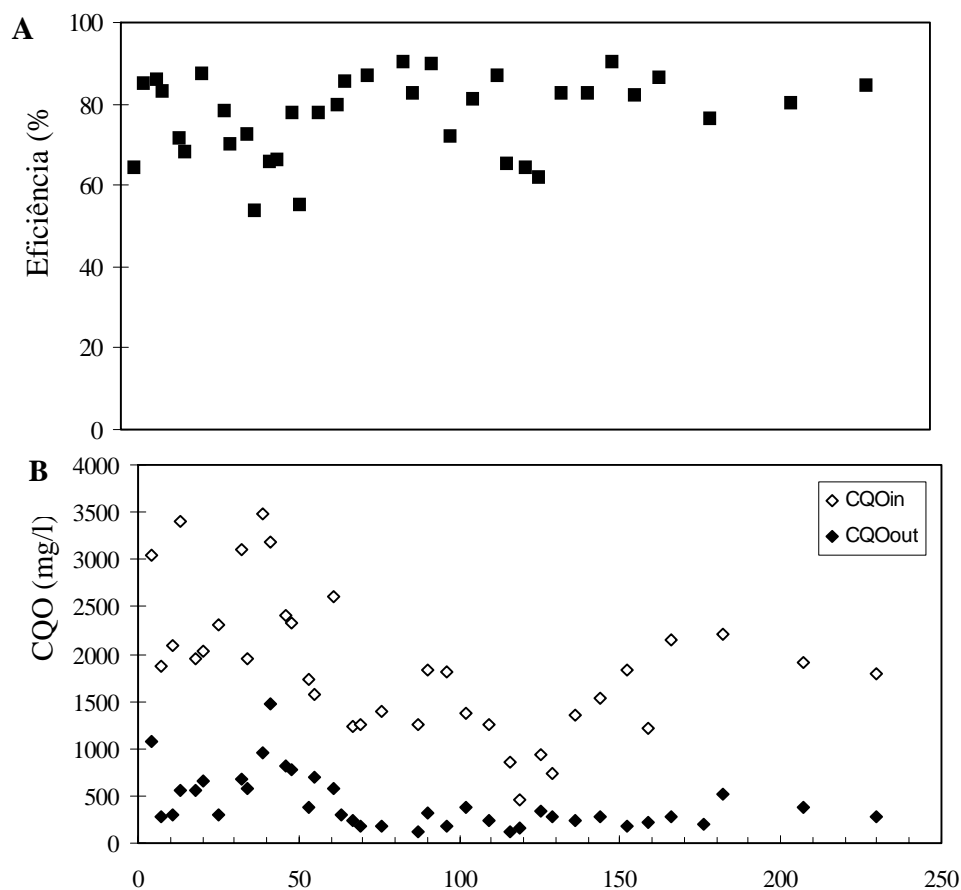


Figura 7 - Resultados de operação do reactor UASB: A. Eficiência; B. Valores de CQO; (in: entrada, out: saída).

O protocolo de aplicação de cargas orgânicas, exercido através de uma redução gradual do tempo de retenção hidráulico, seguiu um crescimento relativamente lento. No dia

179, atingiu-se uma carga rondando as 20 kgCQO/m<sup>3</sup>.dia, valor correspondendo a um tempo de retenção hidráulico de 2.8 horas. No que concerne ao fenómeno de agregação microbiana notou-se, cerca de 1 mês após o início do trabalho, que o leito de biomassa apresentava uma aparência significativamente diferente da inicialmente observada, aquando da inoculação com biomassa dispersa. Nessa data, o leito de biomassa apresentava uma fase distinta do restante zona de decantação do reactor, mas revelava uma estrutura floculenta, frágil. Durante esta fase, a biomassa amostrada apresentava valores de sólidos no leito de lamas rondando os 10-15 kgSV/m<sup>3</sup> (valores amostrados na porta localizada na parte inferior do reactor). No seu conjunto, as observações efectuadas levam a considerar este momento (próximo de um mês de ensaio) como o início do processo de granulação, após a fase preliminar de adaptação. A pressão a que se submeteu o sistema entre os dias 140-179, durante o qual se diminuiu, acentuadamente, o tempo de retenção hidráulico e em que, simultaneamente, ocorreu um aumento da concentração de matéria orgânica, parece ter sido importante para o sucesso da granulação. A verdade é que se verificou, num exame efectuado no dia 179, a presença de um leito de biomassa com uma estrutura granular completamente desenvolvida. A concentração em sólidos voláteis de biomassa amostrada na parte inferior do reactor acompanhou esta significativa evolução. Na fase final do ensaio, o valor máximo de sólidos nos grânulos foi 87 kgSV/m<sup>3</sup> e 114 kgST/m<sup>3</sup>.

Obtiveram-se valores de velocidade de sedimentação de 4-5 m/h para o inóculo e de 40-50 m/h para os grânulos. Estes valores estão de acordo com os referidos por Hanaoka *et al.* (1994), nomeadamente 1.8 m/h no inóculo, 5.6 m/h no início da granulação e 43 m/h em grânulos de dimensão superior a 1 mm. O índice volúmico da biomassa, medido ao fim de 30 minutos, foi de 5 mL/g no caso de uma amostra de biomassa dispersa e de 1 mL/g no ensaio com grânulos. Esta diferença de resultados traduz bem o aumento do diâmetro e da densidade das estruturas granulares relativamente aos valores iniciais do inóculo de biomassa. A Figura 8 apresenta uma microfotografia dos grânulos obtida através de microscopia electrónica de varrimento (SEM).



Figura 8 - Grânulos anaeróbios observados por SEM.

## CONCLUSÕES

A experiência adquirida ao longo do primeiro ano de operação do sistema de tratamento de **efluentes vinícolas** permitiu concluir que os processos descontínuos de tratamento (SBR) atingem os objectivos propostos. Não obstante, verificou-se que durante os períodos de maior afluência de matéria orgânica ao reactor biológico (vinificação e trasfegas), o fornecimento de oxigénio ao sistema deveria ser ampliado para 18 kgO<sub>2</sub>/h e que, nos períodos de maior caudal, a operação do SBR com dois ciclos diários conduz a melhores resultados.

No que concerne aos resultados obtidos com os **efluentes da indústria cervejeira**, o presente estudo demonstrou a viabilidade dos reactores UASB perante efluentes solúveis pouco concentrados e, caso o protocolo de operação seja executado com rigor, a capacidade de formação de grânulos a partir de biomassa dispersa.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu agradecimento à Eng<sup>a</sup> Cristina Costa, da *Unicer SA*, e ao Eng<sup>o</sup> Carlos Costa, da *Luságua SA*, todos comentários e sugestões efectuados durante o presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

A.P.H.A., A.W.W.A., W.P.C.F. (1985). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 16<sup>th</sup> edition, APHA (ed.), Washington DC, U.S.A.

- Birkenstock B., Bosendörfer L. (1997). The new effluent treatment plant at Licher Privatbrauerei. *Brawelt International*. V, 440-443.
- Brito A.G., Rodrigues A.C., Melo L.F. (1997). Granulation during the start-up of a UASB reactor used in the treatment of low strength wastewaters. *Biotechnology Letters*. **19**, 4, April 1997, 363-367.
- Brito A.G., Melo L.F. (1990). Aplicação do Modelo de Rittmann e McCarty a Reactores UASB da Indústria da Pasta de Papel. In: *Actas do V Congresso de Biotecnologia*. Universidade do Minho. Ed.: Soc. Port. de Biotecnologia, Braga, BA 7.
- Hulshoff Pol, L.W., Zeew, W., Velzeboer, C.T., Lettinga, G. (1983). Granulation in UASB reactors. *Water Science and Technology*, **15**, 8, 291-304.
- Rodrigues, A.C, Brito A.G., Melo L.F. (2001). Post-treatment of a brewery wastewater using a sequencing batch reactor. *Water Environment Research*, **73**, 1, 45-51.
- Kühbeck G. (1997). Experiences from industrial application by Bitburger Brauerei. *Brawelt International*. V, 444-447.